

【新エネルギー(燃料電池・水素)分野】

仮訳

重曹を使ったクリーンな水素貯蔵方法(米国)
PNNL の科学者らが豊富な資源である塩の優れた特性を調査
2023年6月12日

温暖化の続く世界では、エネルギー源の炭素排出量ゼロ、またはほぼゼロを求める世論が高まっている。これは、再生可能エネルギー源をより多く使用し、石炭、石油、天然ガスを代替して行くことを意味している。

再生可能エネルギーを貯蔵・運搬するための最も有望な媒体の 1 つに、化石燃料を使わずに生産されるクリーンな水素がある。

これが有望なアイデアである理由は、水素が宇宙に最も豊富に存在する元素であり、あらゆる物質の 75%に含まれていることだ。さらに、水素分子には、無毒でありながら非常に燃えやすい、対になった原子 2 個が含まれている。

水素の燃焼能力は、世界中のエネルギー研究者にとって魅力的な研究テーマとなっている。

[Pacific Northwest National Laboratory \(PNNL\)](#) の研究チームは、主には水素の化学結合を壊すことで、水素をエネルギー貯蔵・放出媒体として利用する研究を実施している。この研究の多くは、米国エネルギー省 (DOE) の [Hydrogen Materials-Advanced Research consortium \(HyMARC\)](#) に関連するものだ。

水素貯蔵はまだ最適化されていない

PNNL の研究の焦点の 1 つは、解決しがたい問題である水素貯蔵の最適化に関するものである。現時点では、完全に安全で費用対効果が高く、エネルギー高効率で水素を大量に貯蔵できる方法は存在していない。

PNNL の研究者らは先般、[水素を貯蔵する手段としてベーキングソーダ\(重曹\)の溶液を調査する論文](#)を共同で執筆している。この研究はすでに、王立化学会が発行する学術誌『*Green Chemistry*』により「ホットペーパー」と呼ばれている。つまり、関心を示すクリック数を多く得ているということだ。



化学者の Tom Autrey 氏 (撮影:Andrea Starr | PNNL)

PNNL における水素ベースの貯蔵の取り組みには、DOE のエネルギー効率・再生可能エネルギー局 (EERE) の[水素燃料電池技術室\(HFTO\)](#)が資金を提供している。この研究は、DOE の [H2@Scale](#) イニシアティブと同機関の [Hydrogen Shot](#) を推進するものである。

この論文の主な執筆者は、[化学者で PNNL Laboratory Fellow の Thomas Autrey 氏](#)と、その同僚で化学反応を迅速かつ費用対効果的にする専門家の [Oliver Gutierrez 氏](#)の 2 人である。

豊富にあり、安価で穏やかな物質の重曹が、大きな問題への答えとなる可能性を楽しむ Autrey 氏は、「少しばかりクリエイティブでなければなりません」と言う。「すべての化学物質が効率的に水素を貯蔵できるわけではありません。母なる自然が与えるもので対処する必要があります」。

長期的なエネルギー需要に向けたクリーン水素

PNNL の Autrey 氏と Gutierrez 氏らは、[長期的なエネルギー貯蔵](#)が再生可能エネルギーを貯蔵・運搬する手段としての水素の将来への鍵となると考えている。

現在のバッテリー技術は数時間のエネルギー貯蔵の設計となっており、再生可能エネルギーグリッドでは貯蔵需要の約 80%に対応できる。

しかし、「残りの 20%にはユニークな戦略が必要です」と Autrey 氏は言う。「*Dunkelflaute* (ドゥンケルフラウテ) に備え、余剰エネルギーを蓄える必要があります」。

ダウンケルフラウテとは、十分な太陽エネルギーと風力エネルギーが生産できない状態を表すドイツ語である。ダウンケルフラウテである曇天で風の吹かない期間には、数時間以上にわたりグリッドにエネルギーを蓄える方法が必要となる。

水素の有利な点の一つは、このような季節に応じたエネルギーの貯蔵能力である。また、水素によるエネルギー貯蔵はどの場所でも可能であるという事実も同様に有利で、専門家が言うように「場所を選ばない」。例えば、水力発電では発電のための余分な水を蓄える標高差を必要とするが、水素によるエネルギー貯蔵には特別な地理的条件は不要である。

さらに、スケールが大きくなるにつれ、[水素貯蔵はより経済的になる](#)と Autrey 氏は言う。バッテリーを大量に購入するよりも、水素貯蔵タンクをいくつか使い購入する方が安い。

最適な水素貯蔵方法の発見

クリーンな水素は、エネルギー源として大いに有望である。例えば、電気分解と呼ばれるプロセスは、水を水素と酸素に分解する。電気分解の電力を太陽光、風力、地熱などの再生可能エネルギー源から得ることができれば理想的である。

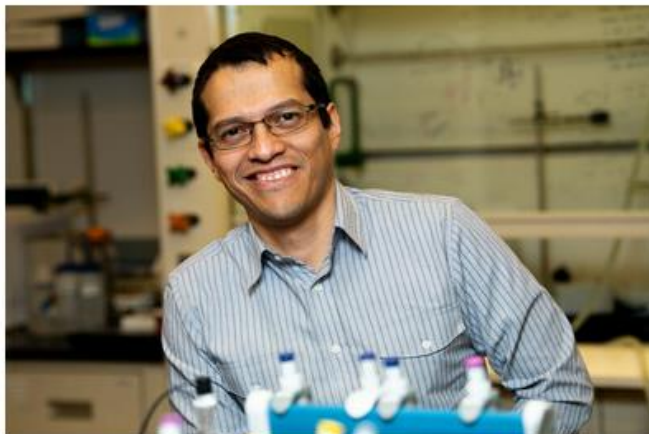
とはいえ、困難な問題は、水素をより安価に製造することである。

この問題に対処するため、DOE は 2021 年にクリーンエネルギー技術のブレークスルーを支援する 6 つのステップである [Energy Earthshots イニシアティブ](#) を発表している。最初に導入されたのは、10 年間で水素のコストを 1 kg あたり 5 ドルから 1 ドルの、80% の削減を目指す「Hydrogen Shot」であった。

クリーンな水素の製造コストを低減することに加え、「輸送して貯蔵する方法を見出す必要がある」と Autrey 氏は言い、このことが水素コストをさらに増大させる。しかし、水素貯蔵に最適な媒体の発見は達成しがたいものとなっている。水素は圧縮して気体にするができるが、それには最大で 10,000lb /in² の非常に高い圧力が必要になる。安全な水素貯蔵タンクには、鋼鉄や航空宇宙グレードの高価な炭素繊維でできた非常に厚い壁が必要になるだろう。

極低温の液体水素は実証済みの貯蔵媒体だが、極めて低い温度(−471F/−279.4C)が必要となりエネルギーコストが増大する。

最も有望と考えられるものは、水素の貯蔵・放出に最適化された液体分子である。持続可能なエネルギーの専門家である [Jamie Holladay](#) 氏は、先般 [PNNL 主導](#) の研究を指揮し、水素を液化するよりシンプルで効率的な戦略を提案している。



化学エンジニアの Oliver Gutierrez 氏 (撮影:Andrea Starr | PNNL)

そのような液体を貯蔵媒体として使用することには、パイプライン、トラック、列車、タンカー等の既存のエネルギーインフラを利用できるという利点があると Gutierrez 氏は言う。

重碳酸塩ーギ酸塩の循環

クッキーを焼くにも、水素エネルギーを貯蔵するにも、重曹(ベーキングソーダ)が使えるだろう。穏やかで安価なこの重碳酸ナトリウムは、無毒で地球に豊富に存在する。

厳密には重曹ではないが、PNNL の研究チームは、長年研究されている重碳酸塩ーギ酸塩のサイクルによる水素エネルギー貯蔵の可能性について調査している(ギ酸塩は安全で穏やかな液体有機分子)。

この水素エネルギー貯蔵の仕組みは次の通り：水中のギ酸イオンの溶液(水素と二酸化炭素)が、非腐食性のアルカリ金属ギ酸塩として水素を保持する。ギ酸イオンは触媒を介して水と反応し、水素と重碳酸塩が生成される。Autrey 氏は、環境に影響を及ぼさない「重曹」として、この重碳酸塩を賞賛している。

圧力を適度に調整することで重碳酸塩とギ酸塩のサイクルのリバースが可能で、水素を交互に貯蔵・放出する水溶液のオン・オフスイッチになる。

PNNL の研究チームは、重曹を研究する前に、液体有機水素キャリア(水素を貯蔵・輸送する有機化合物を意味する用語)としてエタノールの使用を検討しており、これと並行して水素を放出する触媒を開発した。

触媒とは、化学結合の生成・切断に使用されるプロセスをエネルギー効率の高い方法で高速化するデザイナー・アディティブ(特製の添加剤)である。

2023年5月、PNNLの取り組みに関連するプロジェクトに向けて、EEREはワシントン州リッチランドの [OCOchem](#) に対し、二酸化炭素からギ酸塩とギ酸を生成する電気化学プロセス開発のための資金 250 万ドルを 2 年間にわたって提供している。このプロセスでは、水を示すアイコン的な化学結合 H₂O の水素に二酸化炭素を結合させる。

PNNL は、始まったばかりのパートナーシップにおいて、OCOchem の製品から水素を放出する方法を開発する予定である。

「水のように見える」水素貯蔵

重炭酸塩ーギ酸塩サイクルは、水素貯蔵の研究においてかなり前から話題になっている。何と云っても、豊富にあって燃えにくく、毒性のない物質を利用しているのだ。

このサイクルは、あまりにも穏やかなため「水のように見える」水溶液を利用していると Autrey 氏は言う。「これで火を消すこともできます」。

しかし、これが水素エネルギーを貯蔵する実用的な手段となるには、経済的に実現可能なシナリオの展開が必要である。この技術による現時点での水素貯蔵量は、液体水素の業界標準である 70 kg/m³ に対し、わずか 20 kg/m³ である。

より本質的には、この技術の電気化学と触媒作用をシステムレベルで理解する必要があると Autrey 氏は言う。機能できる重炭酸塩ーギ酸塩サイクル技術の、工業用語で言う技術成熟度(TRL)は現時点ではまだ低いのだ。

「触媒の問題を解決すれば、真の関心が得られるかもしれません」と Autrey 氏は付け加える。

『きらりと光る素晴らしい技術』

PNNL の検討するこの塩の溶液が、水との反応で水素を放出することは有利な面である。また、適度な温度と低圧での作動も同様である。

少なくとも Autrey 氏と Gutierrez 氏がその 2023 年の論文で説明しているように、理論的に重炭酸塩ーギ酸塩サイクルは水素の「エネルギーを貯蔵し輸送するための実現可能なグリーンな代替手段」である。

この重曹を利用するアイデアは、2023 年の論文において「いくつかの緊急の科学的課題」と呼ばれているものの中心にもあるものだ。

それらの課題には、捕獲した余剰の二酸化炭素から水素貯蔵媒体を作る方法も含まれている。また、その媒体を使用して電子を貯蔵する、直接ギ酸塩燃料電池の可能性をも提供する。

さらに、この PNNL による研究は、液(水)相における触媒作用に関する見識を提供する可能性がある。触媒候補として、今のところパラジウムを使用している。PNNL の取り組みには、レアメタルの安定化、再利用と長寿命化の方法の解明が含まれている。

重曹を使用するこのアイデアは、水素貯蔵に向けた「きらりと光る素晴らしい技術です」と Autrey 氏は言う。「その可能性にわくわくしています」。

訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米国パシフィックノースウェスト国立研究所(PNNL)の記事“A Baking Soda Solution for Clean Hydrogen Storage” (<https://www.pnnl.gov/news-media/baking-soda-solution-clean-hydrogen-storage>) を翻訳したものである。